

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
4. Dezember 2003 (04.12.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 03/101009 A1

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: H04B 7/06, 7/08

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE03/01723

(22) Internationales Anmeldedatum:  
27. Mai 2003 (27.05.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
102 23 564.3 27. Mai 2002 (27.05.2002) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE];  
Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BAIER, Paul, Walter

[DE/DE]; Burgunder Str. 6, 67661 Kaiserslautern (DE).  
**JÖTTEN, Christoph, Arnold** [DE/DE]; Primsstr. 17,  
66687 Wadern (DE). **MEURER, Michael** [DE/DE]; Auf  
d. Bännjerrück 22, 67663 Kaiserslautern (DE). **QIU, Wei**  
[CN/DE]; K.-Schumacher-Str. 48, 67663 Kaiserslautern  
(DE). **TRÖGER, Hendrik** [DE/DE]; Gersweilerweg 41,  
67657 Kaiserslautern (DE).

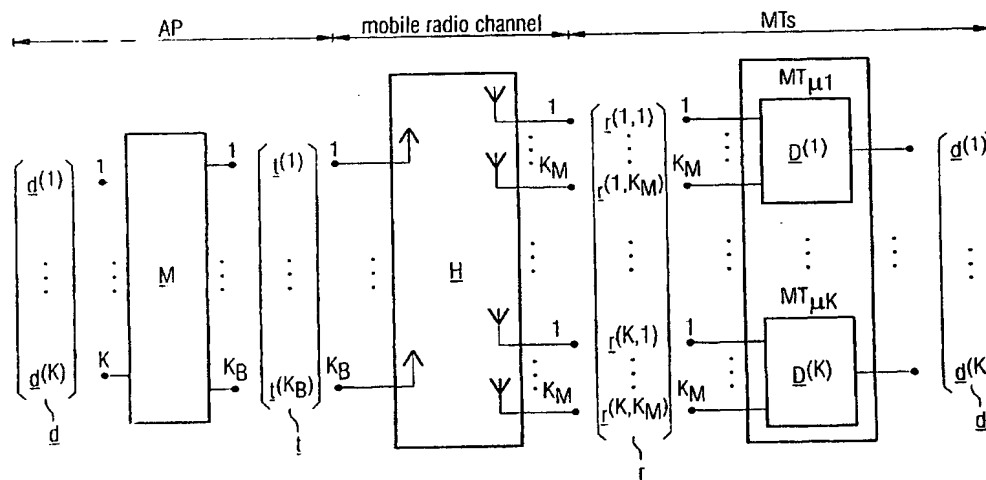
(74) Gemeinsamer Vertreter: **SIEMENS AKTIENGE-  
SELLSCHAFT**; Postfach 22 16 34, 80506 München  
(DE).

(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT,  
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,  
CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH,  
GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC,  
LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW,  
MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR TRANSMITTING INFORMATION IN A MIMO RADIO COMMUNICATION SYSTEM AND RA-  
DIO COMMUNICATION SYSTEM

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR ÜBERTRAGUNG VON INFORMATIONEN IN EINEM MIMO-FUNKKOMMUNIKA-  
TIONSSYSTEM UND FUNKKOMMUNIKATIONSSYSTEM



(57) Abstract: The invention relates to a method for transmitting information in a radio communication system provided with at least one transmitting station (AP) and at least two receiver stations (MT). The transmitting station (AP) and the receiver stations (MT) are connected together by means of a radio communication interface. The transmitting station (AP) comprises a transmitting antenna with  $K_{SB} > B_{<SB>} \geq 1$  antenna elements, whereby  $K_{SB} > B_{<SB>} \geq 1$ , and the receiving stations (MT) respectively comprise a transmitting antenna with  $K_{SB} > M_{<SB>} \geq 1$  antenna elements, whereby  $K_{SB} > M_{<SB>} \geq 1$ , and which communicate by means of a MIMO-transmission. According to the invention, the transmitting signals transmitted from the antenna elements of the transmitting antenna of the transmitting station (AP) are produced in a common process and are adapted in relation to the transmitting energy to be used during radiation. Receiving signals received by the antenna elements of the receiver antenna of the receiver stations (MT) are detected in a linear signal process.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 03/101009 A1



SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,  
UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten (regional):** ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Übertragung von Informationen in einem Funkkommunikationssystem mit mindestens einer Sendestation (AP) und mindestens zwei Empfangsstationen (MT), wobei die Sendestation (AP) und die Empfangsstationen (MT) über eine Funkkommunikations-Schnittstelle miteinander verbunden sind, wobei die Sendestation (AP) eine Sendeantenne mit KB Antennenelementen mit KB<sup>3</sup> 1 und die Empfangsstationen (MT) jeweils eine Sendeantenne mit KM Antennenelementen mit KM<sup>3</sup> 1 aufweisen und über eine MIMO-Übertragung kommunizieren. Erfindungsgemäß werden die von den Antennenelementen der Sendeantenne der Sendestation (AP) abgestrahlten Sendesignale in einem gemeinsamen Prozess generiert und im Hinblick auf die beim Abstrahlen aufzuwendende Sendeenergie angepasst, wobei von den Antennenelementen der Empfangsantennen der Empfangsstationen (MT) empfangenen Empfangssignale in einer linearen Signalverarbeitung detektiert werden.

5 VERFAHREN ZUR ÜBERTRAGUNG VON INFORMATIONEN IN EINEM  
MIMO-FUNKKOMMUNIKATIONSSYSTEM UND FUNKKOMMUNIKATIONSSYSTEM

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Generieren eines  
Sendesignalvektors in einem Funk-Kommunikationssystem mit  
10 mindestens einer Sendestation und mindestens einer  
Empfangsstation nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Die Erfindung betrifft ferner ein mindestens eine  
Sendestation und mindestens zwei Empfangsstationen  
15 umfassendes Funkkommunikationssystem nach dem Oberbegriff des  
Anspruchs 8.

In Funk-Kommunikationssystemen werden Informationen (bei-  
spielsweise Sprache, Bildinformation, Videoinformation, SMS  
20 [Short Message Service] oder andere Daten) mit Hilfe von  
elektromagnetischen Wellen über eine Funkschnittstelle zwi-  
schen sendender und empfangender Station (Basisstation bzw.  
Teilnehmerstation) übertragen. Das Abstrahlen der elektromag-  
netischen Wellen erfolgt dabei mit Trägerfrequenzen, die in  
25 dem für das jeweilige System vorgesehenen Frequenzband lie-  
gen. Für das eingeführte GSM-Mobilfunksystem (Global System  
for Mobile Communication) werden Frequenzen bei 900, 1800 und  
1900 MHz genutzt. Für zukünftige Mobilfunksysteme mit CDMA-  
oder TD/CDMA-Übertragungsverfahren, wie beispielsweise UMTS  
30 (Universal Mobile Telecommunication System) oder andere  
Systeme der 3. Generation, sind Frequenzen im Frequenzband  
von ca. 2000 MHz vorgesehen.

Der Zugriff von Stationen auf das gemeinsame Übertragungsme-  
35 dium wird bei diesen Funk-Kommunikationssystemen durch Viel-  
fachzugriffsverfahren (Multiple Access, MA) geregelt. Bei

diesen Vielfachzugriffen kann das Übertragungsmedium im Zeitbereich (Time Division Multiple Access, TDMA), im Frequenzbereich (Frequency Division Multiple Access, FDMA), im Codebereich (Code Division Multiple Access, CDMA) oder im Raumbereich (Space Division Multiple Access, SDMA) zwischen den Stationen aufgeteilt werden. Dabei findet häufig (zum Beispiel bei GSM [Global System for Mobile Communications], TETRA [Terrestrial Trunked Radio], DECT [Digital Enhanced Cordless Telecommunication], UMTS [Universal Mobile Telecommunication System]) eine Unterteilung des Übertragungsmediums in Frequenz- und/oder Zeitkanäle entsprechend der Funkschnittstelle statt. Diese Kanäle werden allgemein als Übertragungskanäle oder Funkkanäle bezeichnet. Bei dezentral koordinierten Systemen wird anhand von Messungen über die Verwendbarkeit dieser Übertragungskanäle entschieden. Entsprechend der Funkausbreitung, das heißt abhängig von der Funkfelddämpfung, ist auch eine Wiederverwendung dieser Übertragungskanäle in einem entsprechenden räumlichen Abstand möglich.

Bei der Funkübertragung zwischen einer Sendestation und mindestens einer Empfangsstation eines Funk-Übertragungssystems kommt es nun infolge der Frequenzselektivität der Übertragungskanäle zu Interferenzerscheinungen, die als Intersymbolinterferenz und Vielfachzugriffsinterferenzen bekannt sind. Diese Interferenzen verzerren die Sendesignale umso stärker, je größer die Übertragungsbandbreite des Übertragungskanal ist.

Herkömmlicherweise werden die Sendesignale an der Sendestation ohne Berücksichtigung der wirksamen Funkkanäle generiert. Die dann auftretenden Interferenzerscheinungen werden in einem zweiten Schritt, zumindest näherungsweise, durch entsprechende angepasste und im allgemeinen sehr aufwendige Verfahren zum Detektieren der übertragenen Daten an den Empfangsstationen beseitigt.

Es sind Funkkommunikationssystem mit mindestens einer Sendestation (Access Point AP bzw. Basisstation) und mindestens zwei Empfangsstationen (Mobile Terminal MT) bekannt, wobei die Sendestation (AP) und die

- 5 Empfangsstationen (MT) über eine Funkkommunikations-Schnittstelle miteinander verbunden sind. Dabei weisen die Sendestation eine Sendeantenne mit  $K_B$  Antennenelementen mit  $K_B \geq 1$  und die Empfangsstationen jeweils eine Sendeantenne mit  $K_M$  Antennenelementen mit  $K_M \geq 1$  auf. Sie kommunizieren  
10 über eine MIMO-Übertragung (Multiple Input - Multiple Output MIMO).

Funkübertragungseinrichtungen mit zumindest einer Sendestation mit mehreren Sendeelementen und mindestens einer  
15 Empfangsstation mit mehreren Empfangsantennen werden im folgenden als MIMO-Systeme bezeichnet. Bei der Funkübertragung zwischen mindestens einer Sendestation und mindestens einer Empfangsstation eines MIMO-Systems kommt es infolge der Frequenzselektivität der Übertragungskanäle zu  
20 Interferenzerscheinungen, die als Intersymbolinterferenz und Vielfachzugriffsinterferenz bekannt sind. Zum Zwecke der Funkübertragung von mindestens einer Sendestation zu den Empfangsstationen in einem MIMO-System sind prinzipiell zwei Voraussetzungen zu erfüllen:

- 25 - von der jeweiligen Sendestation sind für jede der Sendeantennen geeignete Sendesignale zu generieren und abustrahlen, sowie  
- von jeder der Empfangsstation sind durch geeignete Verarbeitung der Empfangssignale aller Empfangsantennen  
30 die jeweils interessierenden Daten zu detektieren.

In den letzten Jahren wurden alternative Konzepte, wie zum Beispiel Joint Transmission oder Joint Predistortion untersucht, die durch Berücksichtigung der wirksamen Übertragungs-  
35 kanäle bereits beim Generieren der Sendesignale an der Sendestation die Interferenzerscheinungen ganz, im wesentlichen oder zumindest teilweise eliminieren.

- M. Meurer, P.W. Baier, T. Weber, Y. Lu, A. Papathanassiou,  
„Joint Transmission, an advantageous downlink concept for  
CDMA mobile radio system using time division duplexing“,  
5 IEE Electronics Letters, Bd. 36, 2000, S. 900-901 [1]  
und
- P.W. Baier, M. Meurer, T. Weber, H. Tröger, „Joint  
Transmission (JT), an alternative rationale for the  
downlink of time division CDMA using multi-element  
10 transmit antennas“, Proc. IEEE 7<sup>th</sup> International Symposium  
on Spread Spectrum Techniques & Applications (ISSSTA'2000),  
Parsippany/New Jersey, 2000, S. 1-5 [2]

stellen zum Beispiel ein Joint Transmission (JT) Übertra-  
gungsverfahren vor, insbesondere für die Abwärtsstrecke von  
15 Mobilfunksystemen von der Basisstation zu den Teilnehmer-  
stationen, welches das gleichzeitige Versorgen mehrerer  
Teilnehmer ermöglicht. Die von den Sendeantennen der  
Basisstation bzw. Sendestation (AP) abgestrahlten Sendesi-  
gnale werden dabei in einem gemeinsamen Prozess generiert und  
20 im Hinblick auf die dabei aufzuwendende Sendeenergie opti-  
miert.

In Joint-Transmission-Systemen mit mindestens einer  
Sendestation mit mindestens einer Sendeantenne und zumindest  
25 einer Empfangsstation mit mindestens einer Empfangsantenne  
wird die lineare empfängerseitige Signalverarbeitung, im  
folgenden Demodulation genannt, durch empfangsstations-  
spezifische Demodulatormatrizen beschrieben [2].

30 In herkömmlichen Joint-Transmission-Systemen [2] werden die  
teilnehmerspezifischen Demodulationsmatrizen durch feste  
Signaturen, z.B. CDMA-Codes bestimmt. Dieses Vorgehen ist  
insbesondere dadurch bestimmt, dass keine Informationen über  
die räumliche und zeitlichen Übertragungseigenschaften der  
35 zwischen Sendestationen und Empfangsstationen wirksamen  
Mobilfunkkanäle in den Entwurf der teilnehmerspezifischen  
Demodulationsmatrizen einfließen.

Ähnlich zu dem Vorgehen beim Verfahren Joint Transmission (JT), lassen sich auch beim Einsatz von Empfangsstationen mit mehreren Empfangsantennen unter Verwenden von

- 5 - Informationen über die wirksamen Funkkanäle und
- Informationen über die a priori festgelegten empfangsstationsspezifischen Verarbeitungsverfahren zum Detektieren

solche Sendesignale generieren, die die auftretenden oben  
10 angesprochenen Interferenzerscheinungen schon beim Senden theoretisch perfekt eliminiert.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine verbesserte Sendeeinrichtung aufzuzeigen, welche für  
15 die wirksamen Übertragungskanäle sowohl eine Minimierung der Sendeleistung als auch noch weitere Gütekriterien, wie zum Beispiel eine Richtcharakteristik des Sendesignals, berücksichtigen.

20 Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen nach Anspruch 1 und ein Funkkommunikationssystem mit den Merkmalen nach Anspruch 8 gelöst.

25 Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

Erfindungsgemäß werden von den Antennenelementen der Sendeantenne der Sendestation abgestrahlte Sendesignale in einem gemeinsamen Prozess generiert und im Hinblick auf die  
30 beim Abstrahlen aufzuwendende Sendeenergie angepasst, wobei von den Antennenelementen der Empfangsantennen der Empfangsstationen empfangenen Empfangssignale in einer linearen Signalverarbeitung detektiert werden.

35 Mit Vorteil können die Einzelsignale für die Antennenelementen der Sendeantenne der Sendestation mit Hilfe einer

Modulatormatrix  $\overline{M}$  vor der Abstrahlung berechnet werden.

Dabei kann insbesondere ein Sendesignalvektor  $\overline{s} = \overline{M} \cdot \overline{d}$  durch  
im wesentlichen lineare Modulation mindestens eines zu  
5 Übertragenden Datenvektors  $\overline{d}$  mit der Modulatormatrix  $\overline{M}$   
generiert wird.

In Weiterbildung der Erfindung erfolgt bei der linearen  
empfängerseitigen Signalverarbeitung eine Demodulation unter  
10 Berücksichtigung der räumlichen und zeitlichen  
Übertragungseigenschaften der zwischen Sendestationen und  
Empfangsstationen.

Insbesondere kann bei der linearen empfängerseitigen  
15 Signalverarbeitung empfangssationsspezifische  
Demodulatormatrizen  $\overline{D}$  eingesetzt werden.

Mit Vorteil sind jede Sendestation (AP) und jede  
Empfangsstation (MT) über mindestens einen durch eine  
20 Kanalmatrix  $\overline{H}$  charakterisierten Funkkanal verbunden.

Die in der Modulatormatrix  $\overline{M}$  enthaltene Systemmatrix  
 $\overline{B} = \overline{D} \cdot \overline{H}$  ist bevorzugt durch das Produkt aus  
Demodulatormatrix  $\overline{D}$  und Kanalmatrix  $\overline{H}$  gegeben.

25 Beim erfindungsgemäßen Funkkommunikationssystem,  
bei dem die Sendestation eine Sendeantenne mit KB  
Antennenelementen mit  $KB \geq 1$  und die Empfangsstationen  
jeweils eine Sendeantenne mit KM Antennenelementen mit  $KM \geq 1$   
30 aufweisen, sind Mittel zum Generieren der von den  
Antennenelementen der Sendeantenne der Sendestation (AP)  
abgestrahlten Sendesignale in einem gemeinsamen Prozess und  
zum Anpassen im Hinblick auf die beim Abstrahlen  
aufzuwendende Sendeenergie, sowie Mittel zum Detektieren der  
35 von den Antennenelementen der Empfangsantennen der  
Empfangsstationen empfangenen Empfangssignale in einer  
linearen Signalverarbeitung vorgesehen.



Das erfindungsgemäße Funkkommunikationssystem eignet sich insbesondere zur Durchführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens.

5

Die Erfindung kombiniert in einem Mehrteilnehmer (Multi-User) MIMO Übertragungssystem auf einer Kombination einerseits:

- das Generieren von sendestationsspezifischen Sendesignalen gemäß Joint Transmission

10

und andererseits:

- die Demodulation unter Berücksichtigung von Informationen über die räumlichen und zeitlichen Übertragungseinrichtungen der zwischen den Sendestationen und Empfangsstationen wirksamen Mobilfunkkanäle.

15

Technische Umsetzungen dieses neuartigen kombinierten Verfahrens erlauben die Vorteile beider Vorgehensweise gewinnbringend zu nutzen.

20

Es können Informationen über die räumlichen und zeitlichen Übertragungseigenschaften der zwischen Sendestationen und Empfangsstationen wirksamen Mobilfunkkanäle beim Ermitteln der empfangsstationsspezifischen Demodulation berücksichtigt werden.

25

Das Einbeziehen von Kanaleigenschaften bietet unter anderem folgende Vorteile:

- Reduktion der totalen Sendeenergie,
  - Vermeiden von Kombinationen aus Mobilfunkkanälen und
- 30 fehlangepassten Demodulationsmatrizen,
- Verbesserung der Interzell-Interferenzsituation in zellularen Joint-Transmission-Systemen,
  - Reduktion der SNR-Degradation (siehe [3]),
  - Steigerung der Transmission-Efficiency (siehe [3]),
- 35 - Steigerung der Systemkapazität.

Näheres kann dazu beispielsweise aus

- H. Tröger, T. Weber, M. Meurer, P.W. Baier,  
„Performance Assessment of Joint Transmission (JT) Multi-  
User Downlink with Multi-Element Transmit Antennas“,  
5 European Transmission on Telecommunications, ETT Vol. 12,  
No. 5, September/October 2001 [3],  
entnommen werden.

Einzelheiten und Details der Erfindung werden nachfolgend  
10 anhand von Anwendungsbeispiele näher erläutert.

Hierbei zeigen:

Fig. 1: ein Systemmodell eines erfindungsgemäßen MIMO JT  
15 Systems,

Fig. 2: die Struktur einer Kanalmatrix  $\bar{H}_0^{(k)}$  nach Gleichung  
(21) unten,

20 Fig. 3: die Struktur einer Kanalmatrix  $\underline{D}^{(k)}$  nach Gleichung  
(38) unten.

Joint Transmission (JT) ist ein vielversprechendes Übertragungsverfahren für die Abwärtsstrecke [1, 2, 3], das für Mobilfunksysteme vorgeschlagen wird, die das hybride Vielfachzugriffsverfahren TDMA/CDMA benutzen. Bei JT werden die Übertragungssignale vorteilhafterweise gemeinsam für alle Empfangsstationen MT erzeugt. JT setzt auf vorbestimmten Demodulatoren auf [?]. Auf Grundlage der Eigenschaften dieser Demodulatoren und der Kanalimpulsantworten wird der Modulator in der Sendestation AP a posteriori so bestimmt, dass Intersymbolinterferenzen (ISI) und Vielfachzugriffsinterferenzen (MAI - Multiple Access Interference) vollständig eliminiert werden. Bis jetzt werden bei den Untersuchungen von JT Mehrelementantennen nur an der Sendestation AP in Betracht gezogen. Aus numerischen Untersuchungen [3] sind die Nutzen von Sendeantennengruppen ersichtlich. Die vorliegende Erfindung betrifft JT bei Übertragungssystemen mit mehreren Teilnehmern, wo Mehrelementantennen sowohl an der Sendestation AP als auch den Empfangsstationen MT benutzt werden. Ein Systemmodell eines solchen MIMO-JT-Verfahrens wird nachstehend vorgestellt.

#### Signalübertragungsmodell von MIMO-Systemen mit mehreren Teilnehmern

An der AP wird eine Gruppe von  $K_B$  Sendeantennenelementen benutzt und an jeder MT  $\mu_k$ ,  $k = 1 \dots K$  wird eine Gruppe von  $K_M$  Empfangsantennenelementen aufgestellt. Die Kanalimpulsantworten

$$\underline{h}^{(k,k_B,k_M)} = \left( \underline{h}_1^{(k,k_B,k_M)} \dots \underline{h}_W^{(k,k_B,k_M)} \right)^T, \quad k = 1 \dots K, \quad k_B = 1 \dots K_B, \quad k_M = 1 \dots K_M, \quad (1)$$

der Dimension  $W$  charakterisieren den Mobilfunkkanal zwischen dem Sendeantennenelement  $k_B$  und dem Empfangsantennenelement  $k_M$  von MT  $\mu_k$ . In jedes der  $K_B$  Sendeantennenelemente wird das sendeantennenspezifische

10

Sendesignal

$$\underline{t}^{(k_B)} = \left( t_1^{(k_B)} \dots t_S^{(k_B)} \right)^T, \quad k_B = 1 \dots K_B, \quad (2)$$

5 der Dimension  $S$  eingespeist. Die  $K_B$  antennenspezifischen Sendesignale  $\underline{t}^{(k_B)}$  von (2) können zusammengestellt werden, um das Gesamt-Sendesignal

$$\underline{t} = \left( \underline{t}^{(1)T} \dots \underline{t}^{(K_B)T} \right)^T \quad (3)$$

10

der Dimension  $K_B S$  bilden. Mit den Kanalimpulsantworten  $\underline{h}^{(k, k_B, k_M)}$  von (1) können die MT- und antennenspezifischen Kanalfaltungsmatrizen

$$\begin{aligned} \underline{H}^{(k, k_B, k_M)} &= \left( H_{i,j}^{(k, k_B, k_M)} \right), \quad i = 1 \dots S + W - 1, \quad j = 1 \dots S, \\ \underline{H}_{i,j}^{(k, k_B, k_M)} &= \begin{cases} h_{i-j+1}^{(k, k_B, k_M)} & 1 \leq i - j + 1 \leq W, \\ 0 & \text{sonst,} \end{cases} \quad (4) \\ & \quad k = 1 \dots K, \quad k_B = 1 \dots K_B, \quad k_M = 1 \dots K_M, \end{aligned}$$

15

gebildet werden.  $\underline{H}^{(k, k_B, k_M)}$  von (4) besitzt die Dimension  $(S + W - 1) \times S$ .

20 Mit  $\underline{t}^{(k_B)}$  von (2) und  $\underline{H}^{(k, k_B, k_M)}$  von (4) läßt sich das an der Empfangsantenne  $k_M$  von MT  $\mu_k$  empfangene Signal ausdrücken als Vektor

$$\begin{aligned} \underline{r}^{(k, k_M)} &= \sum_{k_B=1}^{K_B} \underline{H}^{(k, k_B, k_M)} \underline{t}^{(k_B)} \\ &= \underbrace{\left( \underline{H}^{(k, 1, k_M)} \dots \underline{H}^{(k, K_B, k_M)} \right)}_{\underline{H}^{(k, k_M)}} \underline{t} \\ &= \underline{H}^{(k, k_M)} \underline{t}, \quad k = 1 \dots K, \quad k_M = 1 \dots K_M. \end{aligned} \quad (5)$$

25

$\underline{r}^{(k, k_M)}$  und  $\underline{H}^{(k, k_M)}$  besitzen die Dimensionen  $(S + W - 1) \times 1$  bzw.  $(S + W - 1) \times (K_B S)$ . Als  $\underline{H}^{(k, k_M)}$  wird die MT- und empfangsantennenspezifische Kanalfaltungsmatrix

bezeichnet.

Die am MT  $\mu_k$ ,  $k = 1 \dots K$  empfangenen  $K_M$  Signale  $\underline{r}^{(k, K_M)}$  von (5) lassen sich in einem Vektor

5

$$\underline{r}^{(k)} = \left( \underline{r}^{(k,1)T} \dots \underline{r}^{(k,K_M)T} \right)^T, \quad k = 1 \dots K, \quad (6)$$

der Dimension  $K_M(S + W - 1)$  anordnen, der als das MT-spezifische Empfangssignal an MT  $\mu_k$  bezeichnet wird.

10

Mit den  $[K_M(S + W - 1)] \times (K_B S)$  MT-spezifischen Kanalfaltungsmatrizen

$$\underline{H}^{(k)} = \left( \underline{H}^{(k,1)T} \dots \underline{H}^{(k,K_M)T} \right)^T, \quad k = 1 \dots K, \quad (7)$$

15

wird aus dem MT-spezifischen Empfangssignal  $\underline{r}^{(k)}$  von (6)

$$\underline{r}^{(k)} = \underline{H}^{(k)} \underline{t}. \quad (8)$$

20

Die  $K$  MT-spezifischen Empfangssignale  $\underline{r}^{(k)}$  von (6) werden zusammengelegt, um das gesamte Empfangssignal

$$\begin{aligned} \underline{r} &= \left( \underline{r}^{(1)T} \dots \underline{r}^{(K)T} \right)^T \\ &= \underbrace{\left( \underline{H}^{(1)T} \dots \underline{H}^{(K)T} \right)^T}_{\underline{H}} \underline{t} \\ &= \underline{H} \underline{t} \end{aligned} \quad (9)$$

25

zu bilden.  $\underline{r}$  und  $\underline{H}$  von (9) besitzen die Dimensionen  $KK_M(S + W - 1)$  bzw.  $[KK_M(S + W - 1)] \times (K_B S)$ .

#### Datenübertragung und -erkennung

30

Es wird angenommen, dass TDMA-Burst  $N$  Datensymbole von

12

der AP zu der MT  $\mu_k, k = 1 \dots K$  zu übertragen sind. Die für MT  $\mu_k, k = 1 \dots K$  bestimmten  $N$  Datensymbole  $\underline{d}_N^{(k)}, k = 1 \dots N$  sind in dem Datenvektor

5

$$\underline{d}^{(k)} = \left( \underline{d}_1^{(k)} \dots \underline{d}_N^{(k)} \right)^T \quad (10)$$

der Dimension  $N$  angeordnet. Die  $K$  Datenvektoren  $\underline{d}^{(k)}, k = 1 \dots K$  werden zusammengelegt, um den Gesamt-Datenvektor

10

$$\underline{d} = \left( \underline{d}^{(1)T} \dots \underline{d}^{(K)T} \right)^T = \left( \underline{d}_1 \dots \underline{d}_{KN} \right)^T \quad (11)$$

der Dimension  $KN$  zu bilden. Zur Durchführung der Datenübertragung von der AP zu den MT muß das Gesamt-Sendesignal  $\underline{t}$  von (3) durch den Gesamt-Datenvektor  $\underline{d}$  von (11) ausgedrückt werden. Bei Annahme einer linearen Modulation läßt sich der Modulationsvorgang ausdrücken als

15

$$\underline{t} = \underline{M} \underline{d}. \quad (12)$$

20

Die Matrix  $\underline{M}$  wird als Modulatormatrix bezeichnet und besitzt die Dimension  $(K_B S) \times (KN)$ .

25

Nach den in [3] angestellten Betrachtungen muß für jede  $K$  MT  $\mu_k, k = 1 \dots K$  eine Demodulatormatrix  $\underline{D}^{(k)}$  der Dimension  $N \times [K_M(S + W - 1)]$  vorbestimmt werden und die Gesamt-Demodulatormatrix der Dimension  $(KN) \times [KK_M(S + W - 1)]$  ergibt sich dann als

30

$$\underline{D} = \text{diagonale Blockmatrix} \left( \underline{D}^{(1)}, \dots, \underline{D}^{(K)} \right). \quad (13)$$

In Figur 1 ist das Systemmodell des MIMO-JT-Verfahrens dargestellt. Im Fall der JT wird die Modulatormatrix  $\underline{M}$  von (12) unter Berücksichtigung der Demodulatormatrix  $\underline{D}$

13

von (13) und der Kanalfaltungsmatrix  $\underline{H}$  von (9) so a posteriori bestimmt, dass

$$\underline{d} = \underline{D} \underline{r} = \underline{D} \underline{H} \underline{t} = \underline{D} \underline{H} \underline{M} \underline{d} \quad (14)$$

5

gilt. Nach der Darstellung in [1, 2, 3] ist eine Wahlmöglichkeit

$$\underline{M} = (\underline{D} \underline{H})^* (\underline{D} \underline{H} (\underline{D} \underline{H})^*)^{-1} \quad (15)$$

10

In diesem Fall wird für gegebene  $\underline{H}$  und  $\underline{D}$  die Gesamt-Sendeenergie  $\|\underline{t}\|^2/2$  minimiert. Ein bedeutendes Problem bei der Auslegung eines derartigen MIMO-JT-Verfahrens besteht in der Bestimmung der Demodulatormatrix  $\underline{D}$ , um eine vorteilhafte Systemleistung zu erzielen.

Nachfolgend wird der besseren Übersichtlichkeit wegen ein MIMO-System mit nur einem Teilnehmer betrachtet.

20

In den bislang durchgeführten Untersuchungen von JT-Systemen werden Vielfachantennen nur an der Sendestation (AP) und nicht an den Empfangsstationen (MT) in Betracht gezogen, das heißt MIMO-Antennenanordnungen werden nicht in die Betrachtungen einbezogen. Der wichtige Punkt bei der Aufnahme derartiger Antennenanordnungen in JT-Systemen ist die Definition einer geeigneten Demodulatormatrix.

25

#### Elementares JT-System mit einer MIMO-Antennenanordnung

30

In diesem Abschnitt wird ein elementares JT-System betrachtet, bei dem die AP mit nur einer MT  $\mu_k$ ,  $k \in \{1 \dots K\}$  aus einem Kollektiv von  $K$  MT  $\mu_k$ ,  $k = 1 \dots K$  kommuniziert und bei dem ein einzelnes Datensymbol zu dieser MT übertragen wird. Diese Situation mit nur einer MT und nur einem Datensymbol wird im folgenden durch den Index „0“ angezeigt.

35

Die betrachtete MIMO-Antennenanordnung besteht aus  $K_B$  Sendeantennen an der AP und  $K_M$  Empfangsantennen an jeder MT  $\mu_k$ ,  $k = 1 \dots K$ . Die Bezeichnungen und Dimensionen der im Verlauf dieses Abschnitts eingeführten Vektoren und Matrizen sind in Tabellen 1 und 2 zusammengestellt.

In jede der  $K_B$  Sendeantennen wird das sendeantennen-spezifische Sendesignal

$$\underline{t}_0^{(k,k_B)} = \left( \underline{t}_{0,1}^{(k,k_B)} \dots \underline{t}_{0,S_0}^{(k,k_B)} \right)^T, \quad k_B = 1 \dots K_B, \quad (16)$$

der Dimension  $S_0$  eingespeist. Wenn  $S_0$  größer als 1 ist, dann ist das übertragene Datensymbol spektral gespreizt.  $S_0$  wird daher als Spreizfaktor bezeichnet. Die  $K_B$  antennenspezifischen Sendesignale  $\underline{t}_0^{(k,k_B)}$  von (16) werden zu dem Gesamt-Sendesignal

$$\underline{t}_0^{(k)} = \left( \underline{t}_0^{(k,1)T} \dots \underline{t}_0^{(k,K_B)T} \right)^T \quad (17)$$

der Dimension  $K_B S_0$  zusammengestellt.

Der Funkkanal zwischen der Sendeantenne  $k_B$  und der Empfangsantenne  $k_M$  der MT  $\mu_k$  ist durch die Kanalimpulsantwort

$$\underline{h}^{(k,k_B,k_M)} = \left( \underline{h}_1^{(k,k_B,k_M)} \dots \underline{h}_W^{(k,k_B,k_M)} \right)^T \quad (18)$$

der Dimension  $W$  charakterisiert. Mit  $\underline{h}^{(k,k_B,k_M)}$  von (18) läßt sich die MT- und antennenspezifische Kanalmatrix

$$\begin{aligned} \underline{H}_0^{(k,k_B,k_M)} &= \left( \underline{H}_{0,i,j}^{(k,k_B,k_M)} \right), \quad i = 1 \dots S_0 + W - 1, \quad j = 1 \dots S_0, \\ \underline{H}_{0,i,j}^{(k,k_B,k_M)} &= \begin{cases} \underline{h}_{i-j+1}^{(k,k_B,k_M)} & 1 \leq i - j + 1 \leq W, \\ 0 & \text{sonst,} \end{cases} \\ &\quad k_M = 1 \dots K_M, \quad k = 1 \dots K, \quad k_B = 1 \dots K_B, \end{aligned} \quad (19)$$



bilden.  $\underline{H}_0^{k,k_B,k_M}$  besitzt die Dimension  $(S_0 + W - 1) \times S_0$ .

Mit  $\underline{t}_0^{(k)}$  von (17) und  $\underline{H}_0^{k,k_B,k_M}$  von (19) läßt sich das an der  
5 Empfangsantenne  $k_M$  von MT  $\mu_k$  empfangene Signal als Vektor

$$\begin{aligned}\underline{r}_0^{(k,k_M)} &= \sum_{k_B=1}^{K_B} \underline{H}_0^{(k,k_B,k_M)} \underline{t}_0^{(k,k_B)} \\ &= \underbrace{\left( \underline{H}_0^{(k,1,k_M)} \dots \underline{H}_0^{(k,K_B,k_M)} \right)}_{\underline{H}_0^{(k,k_M)}} \underline{t}_0^{(k)}, \quad k_M = 1 \dots K_M, \quad (20)\end{aligned}$$

der Dimension  $S_0 + W - 1$  ausdrücken.  $\underline{H}_0^{k,k_M}$  in (20) besitzt  
10 die Dimension  $(S_0 + W - 1) \times (K_B S_0)$ .  $\underline{r}_0^{k,k_M}$  von (20) ist ein  
MT- und empfangsantennenspezifisches Signal. Mit  $\underline{r}_0^{k,k_M}$  wird  
das an MT  $\mu_k$  empfangene Gesamtsignal als

$$\begin{aligned}\underline{r}_0^{(k)} &= \left( \underline{r}_0^{(k,1)T} \dots \underline{r}_0^{(k,K_M)T} \right)^T \\ &= \underbrace{\left( \underline{H}_0^{(k,1)T} \dots \underline{H}_0^{(k,K_M)T} \right)^T}_{\underline{H}_0^{(k)}} \underline{t}_0^{(k)} \\ &= \underline{H}_0^{(k)} \underline{t}_0^{(k)} \quad (21)\end{aligned}$$

15 erhalten.  $\underline{r}_0^{(k)}$  und  $\underline{H}_0^{(k)}$  von (21) besitzen die Dimensionen  
 $K_M(S_0 + W - 1)$  bzw.  $[K_M(S_0 + W - 1) \times (K_B S_0)]$ . In Figur 2 ist die  
Struktur der Matrix  $\underline{H}_0^{(k)}$  dargestellt.

20 Mit  $\underline{t}_0^{(k)}$  von (2) und  $\underline{r}_0^{(k)}$  von (21) werden die durch die AP  
übertragenen und durch MT  $\mu_k$  empfangenen Energien zu

$$T_0^{(k)} = \underline{t}_0^{(k)*T} \underline{t}_0^{(k)} \quad (22)$$

bzw.

$$\begin{aligned} R_0^{(k)} &= r_0^{(k)*T} r_0^{(k)} \\ &= \underline{t}_0^{(k)*T} \underline{H}_0^{(k)*T} \underline{H}_0^{(k)} \underline{t}_0^{(k)}. \end{aligned} \quad (23)$$

- 5 Man fordere nunmehr, dass das Verhältnis  $R_0^{(k)}/T_0^{(k)}$  von  $R_0^{(k)}$  von (23) und  $T_0^{(k)}$  von (22) durch richtige Wahl von  $\underline{t}_0^{(k)}$  von (17) maximiert werden soll. Um diese Maximierung zu erreichen, sollte  $\underline{t}_0^{(k)}$  von (17) wie folgt gewählt werden:

$$\underline{t}_0^{(k)} = \arg \max_{\underline{t}_0^{(k)}} \left( \frac{\underline{t}_0^{(k)*T} \underline{H}_0^{(k)*T} \underline{H}_0^{(k)} \underline{t}_0^{(k)}}{\underline{t}_0^{(k)*T} \underline{t}_0^{(k)}} \right), \quad (24)$$

10

was einem Rayleigh-Quotienten entspricht. Mit  $\underline{H}_0^{(k)}$  von (21) ist das durch (24) bestimmte Sendesignal  $\underline{t}_0^{(k)}$  der Eigenvektor  $\underline{u}_0^{(k)}$  der Matrix  $\underline{H}_0^{(k)*T}$  wobei  $\underline{H}_0^{(k)}$  zum größten  
15 Eigenwert dieser Matrix gehört, das heißt

$$\underline{t}_0^{(k)} = \underline{u}_0^{(k)}. \quad (25)$$

Durch Substitution von  $\underline{t}_0^{(k)}$  von (25) in (21) ergibt sich das  
20 Gesamt-Empfangssignal

$$\underline{r}_0^{(k)} = \underline{H}_0^{(k)} \underline{u}_0^{(k)}. \quad (26)$$

Der beste Demodulator für dieses Signal ist ein signal-  
25 angepaßtes Filter, das mit  $\underline{r}_0^{(k)}$  von (21) zu der Demodulatorematrix

$$\begin{aligned}
 \underline{D}_0^{(k)} &= \underline{r}_0^{(k)*T} \\
 &= \underline{u}_0^{(k)*T} \underline{H}_0^{(k)*T} \\
 &= \left( \underline{D}_0^{(k,1)} \dots \underline{D}_0^{(k,K_M)} \right)
 \end{aligned} \tag{27}$$

$$= \left( \underline{D}_{0,1}^{(k)} \dots \underline{D}_{0,K_M(S_0+W-1)}^{(k)} \right) \tag{28}$$

der Dimension  $1 \times [K_M(S_0 + W - 1)]$  führt, wo die  
 5 empfangsantennenspezifischen Demodulatormatrizen

$$\underline{D}_0^{(k,k_M)} = \underline{r}_0^{(k,k_M)*T}, \quad k_M = 1 \dots K_M, \tag{29}$$

die Dimension  $1 \times (S_0 + W - 1)$  besitzen.

10

**Vielfach-MT-JT-System mit mehreren Symbolen mit einer MIMO-Antennenanordnung**

a) Übertragungsmodell

15

Man betrachte nunmehr die realistischere Situation, dass die AP gleichzeitig mit allen  $K$  MT  $\mu_k, k = 1 \dots K$  kommuniziert und dass statt nur einem Datensymbol pro MT  $N > 1$  Datensymbole übertragen werden, wobei jedes dieser Datensymbole durch den  
 20 bereits im Abschnitt 2 eingeführten Faktor  $S_0$  spektral gespreizt ist.

Vektor	Bezeichnung	Dimension
$\underline{t}_0^{k, k_a)}$	MT- und sendeantennen-spezifisches Sendesignal	$S_0$
$\underline{t}_0^{k)}$	MT-spezifisches Sendesignal	$K_B S_0$
$\underline{h}^{k, k_a, k_M)}$	MT- und antennenspezifische Kanalimpulsantwort	$W$
$\underline{r}_0^{k, k_M)}$	MT- und empfangsantennen-spezifisches Empfangssignal	$S_0 + W - 1$
$\underline{r}_0^{k)}$	MT-spezifisches Empfangssignal	$K_M (S + W - 1)$
$\underline{u}_0^{k)}$	Zum größten Eigenwert gehörender Eigenvektor von $\underline{H}^{k)} * \underline{H}^{k)}$	$K_B S_0$

Tabelle 1. Bezeichnungen und Dimensionen der in Abschnitt 2 eingeführten Vektoren.

Matrix	Bezeichnung	Dimension
$\underline{H}_0^{k, k_B, k_M}$	MT- und antennen-spezifische Kanalmatrix	$(S_0 + W - 1) \times S_0$
$\underline{H}_0^{k, k_M}$	MT- und empfangs-antennen-spezifische Kanalmatrix	$(S_0 + W - 1) \times (K_B S_0)$
$\underline{H}_0^{k)}$	MT-spezifische Kanalmatrix	$[K_M(S_0 + W - 1)] \times (K_B S_0)$
$\underline{D}_0^{k)}$	MT-spezifische Demodulatormatrix	$1 \times [K_M(S_0 + W - 1)]$
$\underline{D}_0^{k, k_M}$	MT- und empfangs-antennen-spezifische Demodulatormatrix	$1 \times (S_0 + W - 1)$

Tabelle 2. Bezeichnungen und Dimensionen der in Abschnitt 2 eingeführten Matrizen.

5

Wie zuvor ist die AP mit  $K_B$  Sendeantennen ausgerüstet und jede MT  $\mu_k$  weist  $K_M$  Empfangsantennen auf. Im folgenden werden zuerst die in Abschnitt 2 eingeführten Signalbeschreibungen an diese neue Situation angepaßt. Danach wird auf Grundlage der Demodulatormatrizen  $\underline{D}_0^{k)}$  von (27) eine Demodulatormatrix  $\underline{D}$  erzeugt. Die im Verlauf des Abschnitts 3 eingeführten Bezeichnungen und Dimensionen der Vektoren und Matrizen sind in Tabellen 3 bzw. 4 zusammengestellt.

15

Anstatt  $\underline{t}_0^{k, k_B)}$  von (16) gibt es das sendeantennenspezifische Sendesignal

20

$$\underline{t}^{(k_B)} = \left( \underline{t}_1^{(k_B)} \dots \underline{t}_S^{(k_B)} \right)^T, \quad k_B = 1 \dots K_B, \quad (30)$$

der Dimension

5

$$S = NS_0, \quad (31)$$

und anstatt  $\underline{t}_0^{(k)}$  von (17) ergibt sich das Gesamt-Sendesignal

$$\underline{t} = \left( \underline{t}^{(1)T} \dots \underline{t}^{(K_B)T} \right)^T \quad (32)$$

10

der Dimension  $K_B S$ .

Anstatt  $\underline{H}_0^{(k, k_B, k_M)}$  von (19) ergibt sich die MT- und

15 antennenspezifische Kanalmatrix

$$\begin{aligned} \underline{H}^{(k, k_B, k_M)} &= \left( \underline{H}_{i,j}^{(k, k_B, k_M)} \right), \quad i = 1 \dots S + W - 1, \quad j = 1 \dots S, \\ \underline{H}_{i,j}^{(k, k_B, k_M)} &= \begin{cases} \underline{h}_{i-j+1}^{(k, k_B, k_M)} & 1 \leq i - j + 1 \leq W, \\ 0 & \text{sonst,} \end{cases} \\ &\quad k_M = 1 \dots K_M, \quad k = 1 \dots K, \quad k_B = 1 \dots K_B. \end{aligned} \quad (33)$$

$\underline{H}_0^{k, k_B, k_M}$  von (33) besitzt die Dimension  $(S + W - 1) \times S$ .

20

Anstatt  $\underline{r}_0^{k, k_M}$  von (20) ergibt sich mit  $\underline{t}$  von (32) und  $\underline{H}_0^{k, k_B, k_M}$  von (33) das MT- und empfangsantennenspezifische Empfangssignal

$$\begin{aligned}
 \underline{r}^{(k,k_M)} &= \sum_{k_B=1}^{K_B} \underline{H}^{(k,k_B,k_M)} \underline{t}^{(k_B)} \\
 &= \underbrace{\left( \underline{H}^{(k,1,k_M)} \dots \underline{H}^{(k,K_B,k_M)} \right)}_{\underline{H}^{(k,k_M)}} \underline{t}.
 \end{aligned} \tag{34}$$

5  $\underline{r}^{(k,k_M)}$  und  $\underline{H}^{(k,k_M)}$  von (34) besitzen die Dimensionen  $(S + W - 1)$  bzw.  $(S + W - 1) \times (K_B S)$ .

Mit  $\underline{H}^{(k,k_M)}$  von (34) und  $\underline{t}$  von (32) läßt sich das durch MT  $\mu_k$  empfangene Gesamtsignal folgendermaßen schreiben:

$$\begin{aligned}
 \underline{r}^{(k)} &= \left( \underline{r}^{(k,1)T} \dots \underline{r}^{(k,K_M)T} \right)^T \\
 &= \underbrace{\left( \underline{H}^{(k,1)T} \dots \underline{H}^{(k,K_M)T} \right)^T}_{\underline{H}^{(k)}} \underline{t} \\
 &= \underline{H}^{(k)} \underline{t}.
 \end{aligned} \tag{35}$$

10

$\underline{r}^{(k)}$  und  $\underline{H}^{(k)}$  von (35) besitzen die Dimensionen  $K_M(S + W - 1)$  bzw.  $[K_M(S + W - 1)] \times K_B S$ . Als Erweiterung der Betrachtungen in dem vorherigen Abschnitt wird nunmehr ein Gesamt-  
15 Empfangssignal

$$\begin{aligned}
 \underline{r} &= \left( \underline{r}^{(1)T} \dots \underline{r}^{(K)T} \right)^T \\
 &= \left( \underline{H}^{(1)T} \dots \underline{H}^{(K)T} \right)^T \\
 &= \underline{H} \underline{t}
 \end{aligned} \tag{36}$$

mit den  $K$  Empfangssignalen  $\underline{r}^{(k)}$  von (34) aller  $K$  MT  $\mu_k$ ,  $k = 1$   
20 ...  $K$  eingeführt.  $\underline{r}$  und  $\underline{H}$  von (35) besitzen die Dimensionen  $KK_M(S + W - 1)$  bzw.  $[KK_M(S + W - 1)] \times K_B S$ .

b) Bestimmung der Demodulatormatrix  $\underline{D}$ 

Nach den in [2] angestellten Betrachtungen muß für jede der  $K$   
 5 MT  $\mu_k, k = 1 \dots K$  eine Demodulatormatrix  $\underline{D}^{(k)}$  der Dimension  $N \times$   
 $[K_M(S + W - 1)]$  bestimmt werden und dann ergibt sich die  
 Gesamt-Demodulatormatrix der Dimension  $(KN) \times$   
 $[KK_M(S + W - 1)]$  als

$$\underline{D} = \text{diagonale Blockmatrix } (\underline{D}^{(1)} \dots \underline{D}^{(K)}). \quad (37)$$

10

Vektor	Bezeichnung	Dimension
$\underline{t}^{(k_s)}$	sendeantennenspezifisches Sendesignal	$S = NS_0$
$\underline{t}$	Gesamt-Sendesignal	$K_B S$
$\underline{r}^{(k, k_M)}$	MT- und empfangsantennen- spezifisches Empfangssignal	$S + W - 1$
$\underline{r}^{(k)}$	MT-spezifisches Empfangssignal	$K_M(S + W - 1)$
$\underline{r}$	Gesamt-Empfangssignal	$KK_M(S + W - 1)$
$\underline{d}$	Gesamt-Datenvektor	$KN$

Tabelle 3. Bezeichnungen und Dimensionen der in diesem  
 Abschnitt eingeführten Vektoren.



Matrix $\underline{H}^{k, k_B, k_M}$	Bezeichnung	Dimension $(S + W - 1) \times S$
$\underline{H}_0^{k, k_M}$	MT- und antennen- spezifische Kanalmatrix	$(S + W - 1) \times (K_B S)$
$\underline{H}^{k)}$	MT-spezifische Kanalmatrix	$[K_M(S + W - 1)] \times (K_B S)$
$\underline{H}$	Gesamt- Kanalmatrix	$[KK_M(S + W - 1)] \times (K_B S)$
$\underline{D}^{k)}$	MT-spezifische Demodulatormatrix	$N \times [K_M(S + W - 1)]$
$\underline{D}$	Gesamt- Demodulatormatrix	$(KN) \times [KK_M(S + W - 1)]$
$\underline{B}$	Systemmatrix	$(KN) \times (K_B S)$
$\underline{M}$	Modulatormatrix	$(K_B S) \times (KN)$

Tabelle 4. Bezeichnungen und Dimensionen der in diesem Abschnitt eingeführten Matrizen.

5

Der entscheidende Punkt des Vorschlags zum Aufbau der Demodulatormatrix  $\underline{D}^{(k)}$  unter Berücksichtigung der Kanaleigenschaften liegt in in (27) eingeführten Demodulatormatrizen  $\underline{D}_0^{(k)}$ . Die  $N$  Zeilen von  $\underline{D}^{(k)}$  werden als verschobene Versionen von  $\underline{D}_0^{(k)}$  von (27) entsprechend dem Verfahren

10

$$\begin{aligned} \underline{D}_{ij}^{(k)} &= (\underline{D}_{ij}^{(k)}), \quad i=1 \dots N, \quad j=1 \dots [K_M(S_0 N + W - 1)], \\ \underline{D}_{ij}^{(k)} &= \begin{cases} \underline{D}_{0,p}^{(k)} & 1 \leq (j - (i-1)S_0) \bmod (S_0 N + W - 1) \leq S_0 + W - 1, \\ 0 & \text{sonst,} \end{cases} \quad (38) \end{aligned}$$

erhalten, wobei

5

$$p = (j - (i-1)S_0) \bmod (S_0 N + W - 1) + (S_0 + W - 1) \cdot \left[ \frac{j}{S_0 N + W - 1} \right], \quad (39)$$

und  $[]$  den Ganzzahlteil bezeichnet. Die Struktur von  $\underline{D}^{(k)}$  von (38) ist in Figur 3 dargestellt.

10

Mit den  $K$  Matrizen  $\underline{D}^{(k)}$  von (38) lässt sich  $\underline{D}$  von (37) bilden. Mit  $\underline{D}$  von (37) und  $\underline{H}$  von (36) wird die Systemmatrix

$$\underline{B} = \underline{D} \underline{H} \quad (40)$$

15

der Dimension  $KN \times K_B S$  erhalten. Wie in [2] dargestellt, lässt sich nunmehr das Gesamt-Sendesignal  $\underline{t}$  von (22) und der Gesamt-Datenvektor  $\underline{d}$  [2] der Dimension  $KN$  als

$$\begin{aligned} \underline{t} &= \underbrace{\underline{B}^T (\underline{B} \underline{B}^T)^{-1}}_{\underline{M}} \underline{d} \\ &= \underline{M} \underline{d} \quad (41) \end{aligned}$$

20

erhalten, wobei die Modulatormatrix  $\underline{M}$  von (41) die Dimension  $(K_B S) \times (KN)$  besitzt.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Übertragung von Informationen in einem  
Funkkommunikationssystem mit mindestens einer  
5 Sendestation (AP) und mindestens zwei Empfangsstationen  
(MT),  
wobei die Sendestation (AP) und die Empfangsstationen  
(MT) über eine Funkkommunikations-Schnittstelle  
miteinander verbunden sind,  
10 wobei die Sendestation (AP) eine Sendeantenne mit  $K_S$   
Antennenelementen mit  $K_S \geq 1$  und die Empfangsstationen  
(MT) jeweils eine Sendeantenne mit  $K_M$  Antennenelementen  
mit  $K_M \geq 1$  aufweisen und über eine MIMO-Übertragung  
kommunizieren,  
15 dadurch gekennzeichnet,  
dass von den Antennenelementen der Sendeantenne der  
Sendestation (AP) abgestrahlten Sendesignale in einem  
gemeinsamen Prozess generiert und im Hinblick auf die  
beim Abstrahlen aufzuwendende Sendeenergie angepasst  
20 werden und dass von den Antennenelementen der  
Empfangsantennen der Empfangsstationen (MT) empfangenen  
Empfangssignale in einer linearen Signalverarbeitung  
detektiert werden.
- 25 2. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Einzelsignale für die Antennenelementen der  
Sendeantenne der Sendestation (AP) mit Hilfe einer  
Modulatormatrix  $\bar{M}$  vor der Abstrahlung berechnet werden.
- 30 3. Verfahren nach Anspruch 2,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass ein Sendesignalvektor  $\bar{i} = \bar{M} \cdot \bar{d}$  durch im wesentlichen  
lineare Modulation mindestens eines zu übertragenden  
Datenvektors  $\bar{d}$  mit der Modulatormatrix  $\bar{M}$  generiert  
35 wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass bei der linearen empfängerseitigen  
Signalverarbeitung eine Demodulation unter  
5 Berücksichtigung der räumlichen und zeitlichen  
Übertragungseigenschaften der zwischen Sendestationen  
(AP) und Empfangsstationen (MT) erfolgt.
- 10 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass bei der linearen empfängerseitigen  
Signalverarbeitung empfangssationsspezifische  
Demodulatorematrizen  $\bar{D}$  eingesetzt werden.
- 15 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass jede Sendestation (AP) und jede Empfangsstation (MT)  
über mindestens einen durch eine Kanalmatrix  $\bar{H}$   
charakterisierten Funkkanal verbunden sind.
- 20 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die in der Modulatorematrix  $\bar{M}$  enthaltene  
Systemmatrix  $\bar{B} = \bar{D} \cdot \bar{H}$  durch das Produkt aus  
25 Demodulatorematrix  $\bar{D}$  und Kanalmatrix  $\bar{H}$  gegeben ist.
8. Funkkommunikationssystem, insbesondere zur Durchführung  
eines Verfahrens nach einem der vorstehenden Ansprüche,  
umfassend mindestens eine Sendestation (AP) und  
30 mindestens zwei Empfangsstationen (MT),  
wobei die Sendestation (AP) und die Empfangsstationen  
(MT) über eine Funkkommunikations-Schnittstelle  
miteinander verbunden sind,  
wobei die Sendestation (AP) eine Sendeantenne mit KB  
35 Antennenelementen mit  $KB \geq 1$  und die Empfangsstationen  
(MT) jeweils eine Sendeantenne mit KM Antennenelementen  
mit  $KM \geq 1$  aufweisen,

27

dadurch gekennzeichnet,  
dass Mittel zum Generieren der von den Antennenelementen  
der Sendeantenne der Sendestation (AP) abgestrahlten  
Sendesignale in einem gemeinsamen Prozess und zum  
5 Anpassen im Hinblick auf die beim Abstrahlen  
aufzuwendende Sendeenergie und Mittel zum Detektieren der  
von den Antennenelementen der Empfangsantennen der  
Empfangsstationen (MT) empfangenen Empfangssignale in  
einer linearen Signalverarbeitung vorhanden sind.

10

1/3

FIG 1

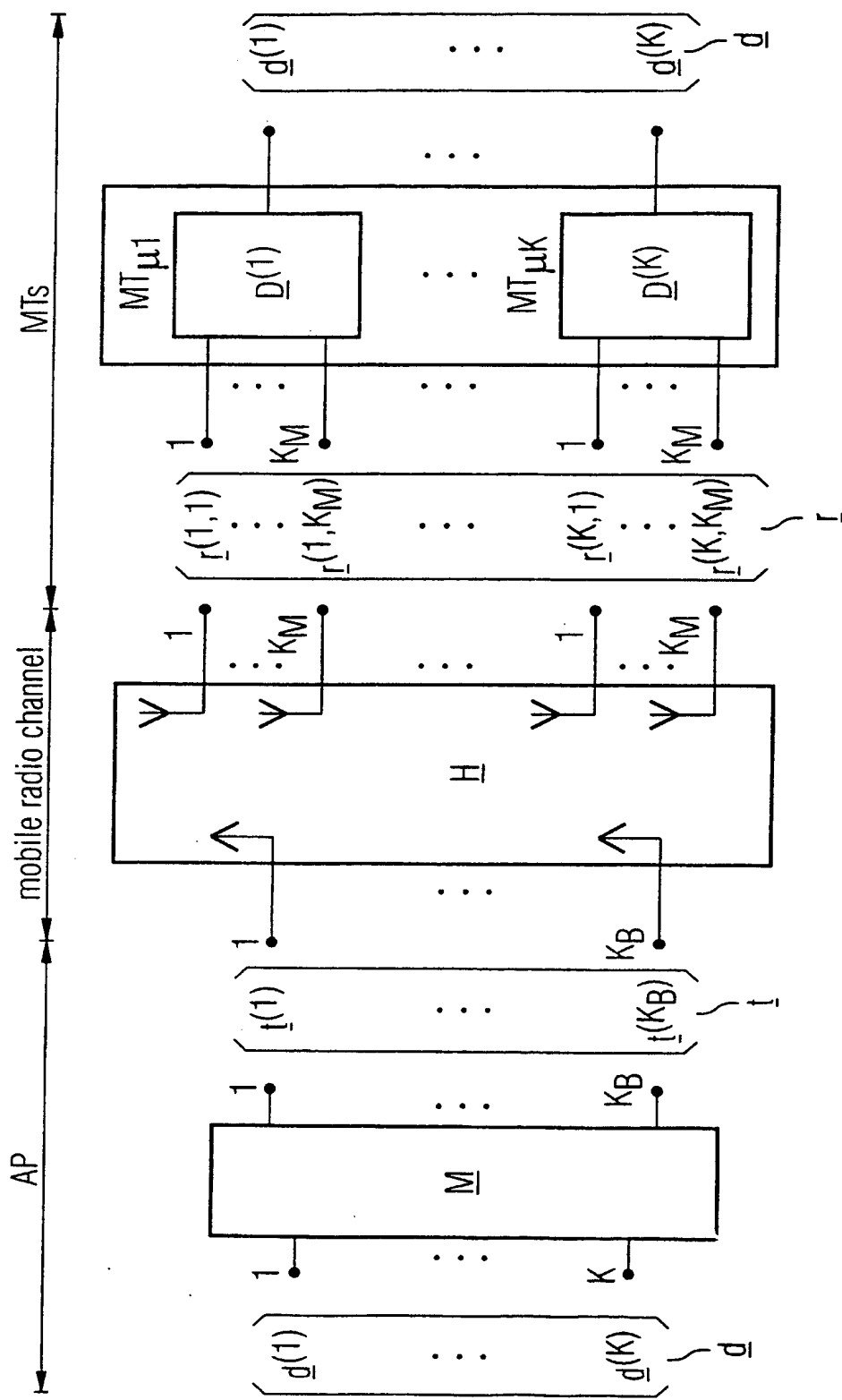


FIG 2

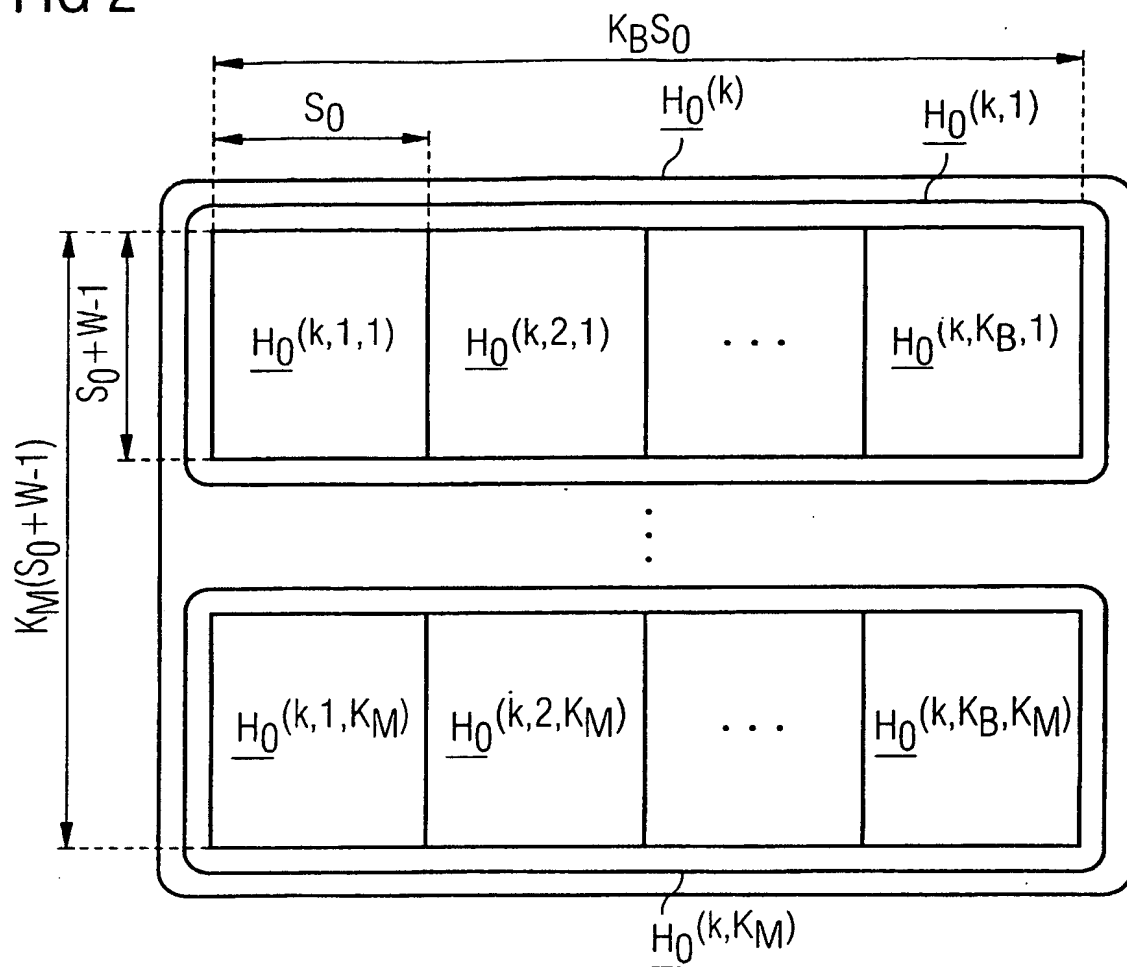
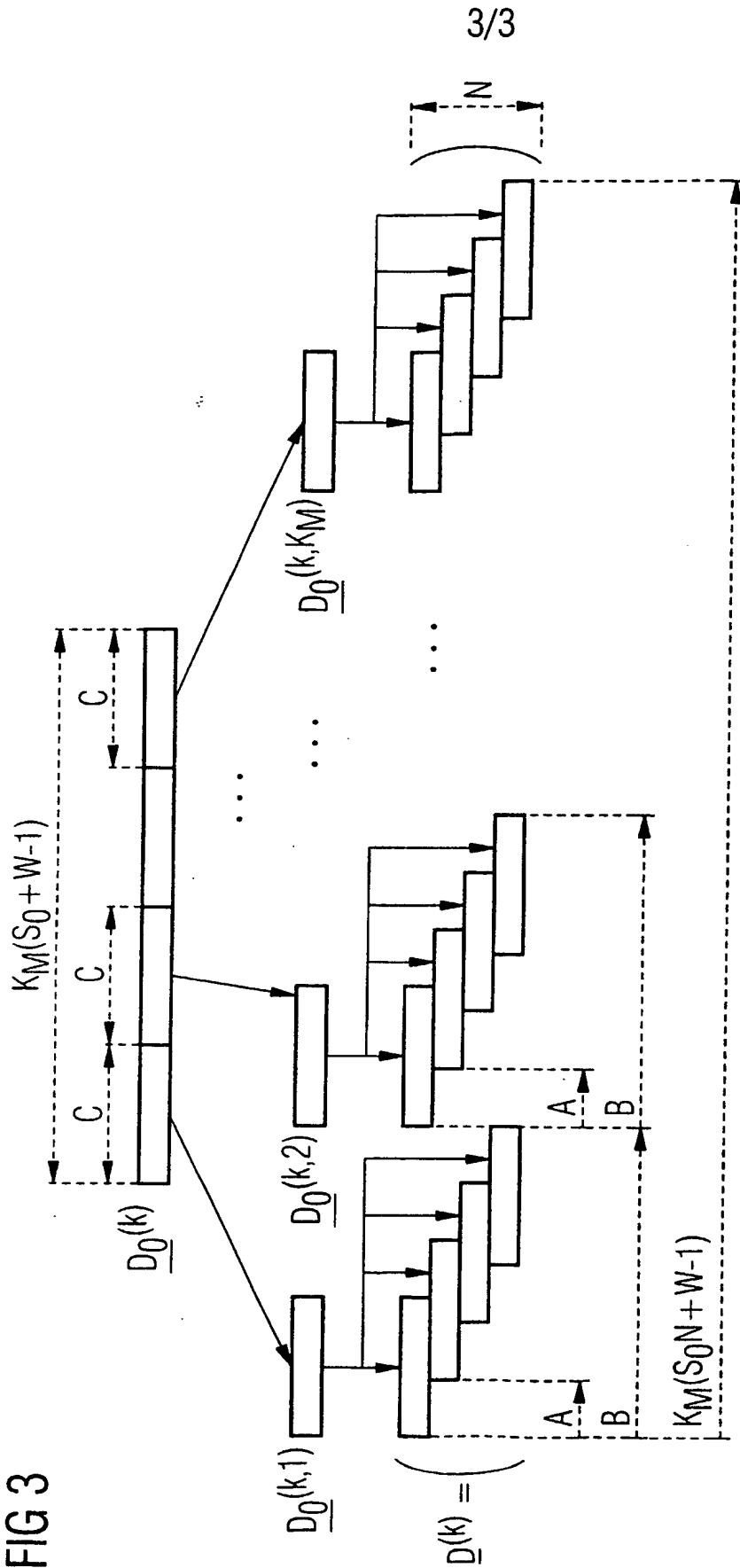


FIG 3



$$\begin{aligned} A &= S_0 \\ B &= S_0N+W-1 \\ C &= S_0+W-1 \end{aligned}$$



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Internati application No

PCT/DE 03/01723

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
 IPC 7 H04B7/06 H04B7/08

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H04B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, COMPENDEX, INSPEC

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	MEURER M ET AL: "Synthesis of joint detection and joint transmission in CDMA downlinks" ELECTRONICS LETTERS, IEE STEVENAGE, GB, vol. 37, no. 14, 5 July 2001 (2001-07-05), pages 919-920, XP006016835 ISSN: 0013-5194 the whole document	1-8
X	EP 0 801 473 A (LUCENT TECHNOLOGIES INC) 15 October 1997 (1997-10-15) column 4, line 34 -column 5, line 13; figure 3 column 8, line 11 - line 30 column 10, line 20 - line 46; figure 5 --- -/--	1-6,8

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

\*G\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

9 October 2003

Date of mailing of the international search report

23/10/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Sieben, S

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Internati. Application No  
PCT/DE 03/01723

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 198 50 279 A (BOSCH GMBH ROBERT) 11 May 2000 (2000-05-11)	1,5,6,8
A	page 2, line 37 - line 44 page 3, line 29 -page 4, line 30; figure 2 page 5, line 44 - line 49	2-4,7
A	BAIER P W ET AL: "Joint transmission (JT), an alternative rationale for the downlink of time division CDMA using multi-element transmit antennas" 2000 IEEE SIXTH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPREAD SPECTRUM TECHNIQUES AND APPLICATIONS. ISSTA 2000. PROCEEDINGS (CAT. NO.00TH8536), PROCEEDINGS OF INTERNATIONAL IEEE SYMPOSIUM ON SPREAD SPECTRUM TECHNIQUES AND APPLICATIONS (6TH ISSSTA), PARSIPPANY, N, pages 1-5 vol.1, XP002257233 2000, Piscataway, NJ, USA, IEEE, USA ISBN: 0-7803-6560-7 cited in the application Kapitel III	1-8

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Internat. Application No  
PCT/DE 03/01723

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0801473 A	15-10-1997	US 5960039 A	28-09-1999
		CA 2199542 A1	10-10-1997
		EP 0801473 A2	15-10-1997
		JP 10041869 A	13-02-1998
DE 19850279 A	11-05-2000	DE 19850279 A1	11-05-2000
		AT 243394 T	15-07-2003
		WO 0027046 A1	11-05-2000
		DE 59906039 D1	24-07-2003
		EP 1320200 A1	18-06-2003
		EP 1125376 A1	22-08-2001

Internat. s Aktenzeichen  
PCT/DE 03/01723

### A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 H04B7/06 H04B7/08

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. BEFORSCHTE GEBIETE

**Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)**

IPK 7 H04B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, COMPENDEX, INSPEC

### C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	MEURER M ET AL: "Synthesis of joint detection and joint transmission in CDMA downlinks" ELECTRONICS LETTERS, IEE STEVENAGE, GB, Bd. 37, Nr. 14, 5. Juli 2001 (2001-07-05), Seiten 919-920, XP006016835 ISSN: 0013-5194 das ganze Dokument ---	1-8
X	EP 0 801 473 A (LUCENT TECHNOLOGIES INC) 15. Oktober 1997 (1997-10-15) Spalte 4, Zeile 34 - Spalte 5, Zeile 13; Abbildung 3 Spalte 8, Zeile 11 - Zeile 30 Spalte 10, Zeile 20 - Zeile 46; Abbildung 5 --- -/--	1-6,8

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

° Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmelde datum veröffentlicht worden ist

\* **L** Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

**\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist**

**\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden**

**\*Y** Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

'&' Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

9. Oktober 2003

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

23/10/2003

**Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde**  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

### **Bevollmächtigter Bediensteter**

Sieben, S

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internatlr : Aktenzeichen

PCT/DL 03/01723

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 198 50 279 A (BOSCH GMBH ROBERT) 11. Mai 2000 (2000-05-11)	1,5,6,8
A	Seite 2, Zeile 37 - Zeile 44 Seite 3, Zeile 29 -Seite 4, Zeile 30; Abbildung 2 Seite 5, Zeile 44 - Zeile 49	2-4,7
A	BAIER P W ET AL: "Joint transmission (JT), an alternative rationale for the downlink of time division CDMA using multi-element transmit antennas" 2000 IEEE SIXTH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPREAD SPECTRUM TECHNIQUES AND APPLICATIONS. ISSTA 2000. PROCEEDINGS (CAT. NO.00TH8536), PROCEEDINGS OF INTERNATIONAL IEEE SYMPOSIUM ON SPREAD SPECTRUM TECHNIQUES AND APPLICATIONS (6TH ISSSTA), PARSIPPANY, N, Seiten 1-5 vol.1, XP002257233 2000, Piscataway, NJ, USA, IEEE, USA ISBN: 0-7803-6560-7 in der Anmeldung erwähnt Kapitel III	1-8

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internatio Aktenzeichen  
PCT/DE 03/01723

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0801473	A	15-10-1997	US 5960039 A 28-09-1999
		CA 2199542 A1 10-10-1997	
		EP 0801473 A2 15-10-1997	
		JP 10041869 A 13-02-1998	
DE 19850279	A	11-05-2000	DE 19850279 A1 11-05-2000
		AT 243394 T 15-07-2003	
		WO 0027046 A1 11-05-2000	
		DE 59906039 D1 24-07-2003	
		EP 1320200 A1 18-06-2003	
		EP 1125376 A1 22-08-2001	